

# “虚拟现实情境下行人过马路的研究”实验操作原理、数据分析指南

(马章竞 2017 年 10 月)

## 被试

(原实验)一共 24 人。四个年龄段的分组,每个年龄段六个人。每个年龄段分组中有三男性,三女性。最小的有 5 岁,最大的有 30 岁,分组依据为: 5-9 岁, 10-14 岁, 15-19 岁, 大于 19 岁。

## 虚拟情景

(原实验)树、路、车、中心岛、天空。路宽 6m,有白色边缘连续直线标记和白色中心不连续直线标记,车辆大小为  $1.74 \times 4.38\text{m}$  (宽 $\times$ 长)。所有车辆大小相同,颜色随机,在白色、黄色、红色和橘黄色之间出现。车辆易于识别,颜色效应未统计。

## 实验设计

14 个试次,车辆均从右边穿过。每个试次含有十辆车,被试可以等所有车均穿过后再进行穿越。每次实验开始的时候,在 1.5s 内有一辆车出现在被试面前,迫使其注意交通环境而不是急着穿越。试次有两种类型,分别是固定车速和固定距离。在固定车速的试次中,所有车辆具有相同速度,在固定距离的试次中,每辆车具有相同的间距。每个试次中对应不同类型均有三种水平,在固定车速组,车速分别为 40、50、60km/h,在固定距离组,两车间距分别是 65, 75, 85m。

时间间隔是穿越马路测验的一个重要变量,在试次的每种类型中,车辆出现的时间间隔 (Time gaps) 分别是 4、6、8、10s。即在固定速度或者固定间隔条件下,所有出现的间隔都会随机在 4、6、8、10s 这几种时间后消失,被试只能在这四种不同间隔中选择一个合适的间隔穿越。

**程序实现:**在固定速度组,距离被试较远有一个车辆出生地,在第一辆车通过被试后,随机延时 4、6、8、10s 后从这里刷出新车,然后驶向被试,当这辆车到达被试后,再重复随机延时-刷出车辆这一过程,每辆车的速度相等,在每个试次中保持不变(取一个水平)。在固定间距组,距离被试一定距离的远处(在每个试次中保持相等,取一个水平)有一个车辆出生地,当第一辆车通过被试后,在出生地产生新的车辆,车辆选择随机 4、6、8、10s 这几个数字的一个作为到达被试出的时间,采用不同的速度运行。

前两个试次作为测试,不记录数据。剩余的十二个试次中,一半用作重复,另一半中,三个试次作为固定车速条件,分别对应固定车速的三个水平,三个试次作为固定车距条件,分别对应固定车距的三个水平。对于这十二个试次,呈现顺序随机,刷出汽车的时间间隔 (Time gaps) 也随机呈现。

## 程序

每个被试完成一次试验，其中包含两试次的训练程序和十二试次的正式实验。给予被试语音指导语，并且回答被试提出的问题。被试被告知要穿越马路到对面的中心岛上。他们被告知可以通过转动头部来四处查看以及随便行走。被试被给予语音指导在四处查看后，回到开始位置，(在虚拟情境中，使用一棵树来作为标志)，回到此处后屏幕即出现程序开始倒计时，在 5s 后即自动开始实验。被试进行穿越，碰撞或者顺利穿过后屏幕出现提示，被试需回到初始位置。在被试从中心岛返回的时候，马路上没有车流。

**注意：**当前版本的此实验采用的是马路南北朝向，被试需向西行走穿越马路。汽车采用摩托车代替。只有一个红外摄像头，因此为了数据收集的可靠性，被试在判断一个合适的穿越间隔后进行穿越，在穿越过程中可以观察路况，但是在快要到达中心岛的时候要转过头来直视前方（不要看脚下或者车辆，不用因为担心碰到实际物体而放慢速度）。此时的摄像头和头盔等高并且固定，采集数据较为准确。2017 年 10 月 23 日更新

## 因变量的测量

每个被试在固定车速和固定距离的情况下，分开、独立测量因变量：

### 一、行为数据（True or False）

- 1、碰撞（collisions）：在正式实验中，被试与机动车相撞的比例。
- 2、完美躲过（Tight fits）：车辆将要碰撞，但是尚未碰撞（在行人走完马路前，即将驶来的车辆到达行人路线的预计时间 $<1.5s$ ）。备注：在此实验条件下无法收集此数据，故不进行测量和分析
- 3、小心翼翼（Cautious crossing）：被试在所有车辆完全通过马路后才穿越马路到达中心岛。

### 二、时间数据（单位 秒）

- 4、穿越时间（Crossing time）：被试穿越马路所用时间的平均值。
- 5、犹豫不决（Rejected gaps）：被试在进行实际穿越前错过的各车辆空隙的平均时间。

### 三、计数数据（单位 次）

- 6、错过多次（Number of gaps）：被试在进行实际穿越前错过的车辆空隙个数。

实际实验输出结果如下：

实验条件		Cautious Crossing <sup>3</sup>	Crossing Time <sup>2</sup>	Time of Crossing Gaps <sup>7</sup>	Collisions <sup>1</sup>	Number of Rejected Gaps <sup>6</sup>	Time(Mean) of Rejected Gaps <sup>5</sup>
同等车速	40km/h	False	6s	10s	True	1	4s
同等车速	50km/h	—	—	—	—	2	4s
同等车速	60km/h	—	—	—	—	3	8s
同等车距	65m	—	—	—	—	—	—
同等车距	75m	—	—	—	—	—	—
同等车距	85m	—	—	—	—	—	—

(1) Time(Mean) of Rejected Gaps 就是在选择穿越之前被试错过的所有间隔的时间的平均值。原文作者用 Reject Gaps 表示。

(2) Time of Crossing Gaps 即选择穿越的那个间隔的持续时间，原文作者用 Crossing Gaps 来表示。Time of Crossing Gaps 区别于 Crossing Time，后者指的是穿越这个选择的间隔所用的时间。

## 结果分析（原实验设计）

### 一、不安全穿越马路的发生率

#### 1、碰撞和恰好躲过（本实验不对“恰好躲过”进行分析）

24 人，每人 14 试次，共 288 试次，其中 13 试次（5%）碰撞，33 试次（12%）恰好躲过。7 被试在所有试次中没有碰撞或者恰好躲过，全部安全通过。这其中有一人是属于小心翼翼的人，即等所有车出现后穿过。在剩余的 6 人中，3 人年龄在 10-14 岁(2 男，1 女)，三人年龄大于 19 岁（2 男，1 女）。其余 17 人中，碰撞的比率为 23%（2.71 次/每人）。在这些不安全过马路的行为中，30%是年龄在 5-9 岁的小孩，24%是年龄在 10-14 岁的小孩，30%是年龄在 15-19 岁的青少年，其余 15%的是年龄大于 19 岁的成人。在所有不安全过马路行为中，男性占有 39%的比率，而女性占有 61%的比率。

对性别、年龄、实验类型（固定车速、固定距离）进行 2×4×2 的 ANOVA 结果（包括所有被试，不论其是否有不安全过马路行为）可得，在实验类型维度存在差异（ $p=0.07$ ）。固定距离碰撞比固定速度条件下碰撞和恰好穿过（这两种均属于不安全过马路行为）更多。女性比男性有更多的不安全过马路行为（ $p=0.30$ ），年纪较大的被试比年纪较小的被试有更少的不安全过马路行为( $p=0.28$ )

## 2、小心翼翼

小心翼翼穿过马路在虚拟现实环境中是安全的，但是在实际情况下几乎是不可能的。19 试次（7%）的被试在车辆完全离开前没有穿越马路。四个被试有过一次以上小心翼翼穿越的行为。其中一个女性，年龄在 5-9 岁之间，所有试次都没有穿越马路，一个男性，15-19 岁之间，有过 5 次小心翼翼穿越行为。12 个试次（63% 占有所有安全和不安全穿越试次）出现在固定距离组，占比 86%（占有所有不安全穿越试次）。由于小心翼翼的行为的数据总体过少，因此不进行相关的数据分析。

## 3、穿越和拒绝穿越的间隔持续时间的度量

统计被试穿过空隙行为出现的车辆空隙持续的时间（Crossing Gaps）和在穿越空隙前错过的那些空隙的平均时间（Rejected Gaps），将被试分为有过一次及以上不安全穿越行为以及没有一次不安全穿越行为两种，将所有试次分为安全的和不安全的（碰撞或者是完美躲过）两种、结合不同的实验类型（固定间距、固定速度）、CG/RG（穿越间隔时间，跳过间隔时间）进行交叉分析。分析可得在固定间距组和固定速度组，各有 23 被试完成了至少一次的安全过马路行为。在固定速度组，有 9 人至少有一次不安全过马路行为，在固定间距组，有 16 人如此。对于跳过的时间（Rejected Gaps），相比较穿越时间（Crossing Gaps），因为有些人没有等任何间隙出现就穿越了马路，所以 RG 的数值在各类实验条件下普遍偏低。

Table 1  
Mean crossing and rejected gap times (s) as a function of trial type and crossing safety

	Safe crossings		Unsafe crossings	
	Uniform speed <sup>a</sup>	Uniform distance <sup>a</sup>	Uniform speed <sup>a</sup>	Uniform distance <sup>a</sup>
Crossing gap				
Participants with no unsafe crossings	8.42 (n = 14)	8.30 (n = 7)	–	–
Participants with unsafe crossings	8.50 (n = 9)	8.00 (n = 16)	6.41 (n = 9)	4.81 (n = 16)
Rejected gap				
Participants with no unsafe crossings	5.19 (n = 13)	6.53 (n = 9)	–	–
Participants with unsafe crossings	4.50 (n = 7)	6.56 (n = 13)	6.00 (n = 2)	7.22 (n = 10)

<sup>a</sup> Trial type.

采用将被试分类和将过马路后果分类这两种方法，可以分别对人和对事进行分析，从中找出实验类型、性别、年龄分组到底是如何影响不同被试的不同过马路行为的。

以 Crossing Gap 作为因变量：（1）安全和不安全穿越马路对比：安全穿越马路的选择穿越的间隔持续时间不存在实验类型的差别，安全穿越马路比不安全穿越马路具有时间的差异性（ $p < 0.0001$ ），前者具有更多的穿越时间，后者则具有较少的穿越时间。（2）对实验类型、年龄和性别差异进行分析：对安全穿越的、以穿越时间作为因变量的  $2 \times 4 \times 2$ （性别、年龄分组、实验类型）方差分析可得，实验类型存在显著效应（ $p < 0.05$ ），性别存在显著效应（ $p < 0.05$ ），对于女性，相比较于固定距离，固定速度情况下的选择穿越的间隔持续时间更长，但这种效应在男性身上没有出现。

以 Rejected Gap 作为因变量：（1）安全和不安全穿越马路对比：在安全穿越的情况下，对于实验类型，拒绝穿越的间隔持续时间存在差异（ $p < 0.001$ ）。不存在安全穿越和不安全穿越情况下的拒绝穿越的间隔持续时间差异。（2）对实验类型、年龄和性别差异进行分析：对于安全穿越的、拒绝穿越的间隔持续时间作为因变量的  $2 \times 4 \times 2$ （同上）方差分

析可得，存在实验类型的主效应，相比较于固定速度组，在固定间距组，拒绝穿越的间隔持续时间的平均值更长。

**CG 和 RG 的对比分析：**对于安全穿越行为，在固定速度的情况下，选择穿越的间隔持续时间比拒绝穿越的间隔持续时间更长（ $p<0.0001$ ），但是对于不安全的穿越行为，则不存在这种差异。在固定距离的情况下，对于安全穿越行为，选择穿越的间隔持续时间比拒绝穿越的间隔持续时间更长（ $p<0.0001$ ），但是对于不安全的穿越行为，则恰好相反（ $p<0.0001$ ）。

#### 4、错过的间隔段数度量

对于安全穿越，不存在不同的实验类型下被试错过的间隔段数的差异。对于不安全穿越，在固定速度情况下，相比较于固定距离，有更少的间隔段数被错过（ $p<0.01$ ）。对于固定速度情况，安全穿越相比较不安全穿越来说，更多的段数被错过。但是在固定距离情况下，不存在安全穿越和不安全穿越的错过段数差异。

## 讨论

### 穿越马路行为

5-9 岁有更多的不安全穿越行为，大于 19 岁的人有更少的不安全穿越行为。时间测量的数据证实，各年龄段的人在组内具有相似的穿越马路行为。儿童穿越马路的高事故率可能不能单纯的归于穿越马路的能力较差。我们的研究证实，在虚拟现实情境下，可能存在性别的表现差异。虽然女性显示出了比男性更高的不安全过马路行为，但是只有女性显示出了对于合适穿越时机的小心选择。其内在机制有待进一步的研究。

被试在固定速度组表现好于固定距离组。在前者有更少的碰撞和擦肩而过，也有更少的小心翼翼行为。结果显示，人们可能更多的用距离作为安全穿越距离的线索而不是车辆的速度。在固定速度组，在安全穿越行为中，穿越的间距时间比拒绝的间距时间长，但是在不安全穿越行为中则没有这种差异。14/16 比例情况下，被试在第一辆车之后直接穿越间隙而不是等下一辆车到来继续观察情况。这显示了，在固定速度情况下的判断错误可能是错误判断了车辆距离可以提供的安全穿越时间，在较小的间隔通过而不是继续等待更长的、安全的间隔。在固定速度组，根据在顺利穿越前经历的间隔段数的测量显示，被试没有因为之前错过间隔而产生挫折。

在固定距离组，只有 40% 的不安全穿越是发生在被试直接穿过马路而没有等待更合适的穿越间隙。更长的拒绝穿越时间显示在这种情况下人们具有更差的对于合适穿越间隔的判断力，根据放弃穿越段数的统计，在固定距离组，更多的段数被拒绝后，被试通常选择更少的时间穿越马路。

需要注意的是，相比较在固定距离的情况下，在在固定速度的情况下被试表现更好不是因为前者没有直接觉察碰撞时间的能力，可能是因为被试仅仅没有把注意力用在判断碰撞时间的信息上，而他们使用别的方式来指导穿越马路行为，比如间隔的距离。